

# GEOGRAFICZNE ZRÓŻNICOWANIE GLEB BIELICOWYCH BORÓW ŚRODKOWEJ I PÓŁNOCNEJ EUROPY

Marek Degórski

Degórski M., 2004: Geograficzne zróżnicowanie gleb biellicowych borów środkowej i północnej Europy (*Geographical differentiation of podzolic soils of needle forests in Middle and Northern Europe*), Regionalny Monitoring Środowiska Przyrodniczego nr 5, s. 185-197, Kieleckie Towarzystwo Naukowe, Kielce.

**Zarys treści:** Artykuł przedstawia w sposób syntetyczny wyniki wieloletnich badań dotyczących przestrzennej zmienności właściwości gleb biellicowych oraz ich regionalnego zróżnicowania. Wynikiem analizy dotyczącej związku niektórych właściwości gleb z ich geograficznym położeniem jest podział obszaru badań, który obejmował środkową i północną Europę, na geograficzno-glebowe jednostki regionalne. Podziału dokonano w oparciu o analizę statystyczną. Następnie dla każdego z wydzielonych regionów określono zakres wahań oraz wartości średnie właściwości gleb biellicowych

**Słowa kluczowe:** gleby biellicowe, strefy i podstrefy regionalne, wskaźniki

Marek Degórski, Polska Akademia Nauk, Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania, ul Twarda 51/55, 00-818 Warszawa, m.degor@twarda.pan.pl

## 1. Wstęp

Występowanie gleb biellicowych stwierdzono i opisano w wielu regionach kuli ziemskiej różniących się wyraźnie warunkami biotycznymi i klimatycznymi, od strefy tropikalnej po polarną (Mokma 1991; Gustafsson i wsp. 1995, 1999; Kowalkowski 1995, 1998; Certini i wsp. 1998; Lundström i wsp. 2000a, 2000b; Degórski 2002), jakkolwiek charakteryzującymi się przewagą opadów nad ewapotranspiracją i acidofilną roślinnością. Gleby te, jak cała pokrywa glebowa, cechują się złożonym rozwojem, często poligenetycznym. Wynika to z faktu nakładania się poziomów iluwialnych tych gleb na pedony ukształtowane już w wyniku innych procesów glebotwórczych lub też wielofazowego nakładania się procesu biellicowania na ten sam pedon. Z uwagi na specyfikę siedlisk w których zachodzi proces biellicowania, bardzo rzadko występują pedony z widocznym wpływem innych procesów pedogenicznych na

istniejące już wcześniej gleby biellicowe. Znaczącą rolę w przebiegu procesów pedogenicznych odgrywa zatem czas, zarówno z punktu widzenia długości trwania procesu glebotwórczego jaki i jego intensywności. Gleby biellicowe w mozaice pokrywy glebowej mogą zatem tworzyć polipedony będące współcześnie w fazie intensywnego rozwoju i polipedony dojrzałe, których występowanie często niezgodne jest z aktualnym układem czynników glebotwórczych.

W borealnym oraz subborealnym pasie klimatyczno-roślinnym, w warunkach morfolitologicznych sprzyjających przemysłowemu typowi gospodarki wodnej, należą one do gleb strefowych, które stanowią integralny komponent ekosystemów borów i borów mieszanych. Znaczna część obszarów tych stref klimatyczno-roślinnych to tereny polodowcowe, na których inicjacja procesów glebotwórczych dużej części polipedonów odbyła się w późnym glacie i w eoholocie, a gleby bielicoziemne są tworam powstałymi w okresach,

które charakteryzowały się klimatem ciepłym i silnie humidowym.

Zróznicowany wiek geologiczny substratu glebowego, czas i intensywność jego przeobrażenia oraz nałożone na to procy glebotwórcze związane ściśle z obiegiem materii organicznej, wpłynęły i wpływają na rozwój gleb bielcowych i zróżnicowanie przestrzenne ich właściwości.

Celem niniejszego artykułu jest charakterystyka przestrzennego zróżnicowania właściwości gleb bielcowych w regionach geograficzno-glebowych północnej i środkowej Europy, wyznaczonych na podstawie statystycznej analizy geograficznego rozkładu cech gleb bielicoziemnych, jak również określenie dla każdego z wyznaczonych regionów geograficzno-glebowych zakresu i średnich wartości wybranych właściwości gleb. Praca stanowi syntezę wieloletnich badań autora nad zróżnicowaniem przestrzennych gleb bielcowych szczegółowo opisanych przez autora (Degórski 2002).

## 2. Obszar badań i metody

Obszar badań na którym w latach 1989-2001 prowadzono studia nad przestrzennym zróżnicowaniem właściwości gleb bielicoziemnych położony jest pomiędzy 12°25' a 32°37' długości geograficznej wschodniej i pomiędzy 50°10' a 69°44' szerokości geograficznej północnej. Badania przeprowadzono na stałych powierzchniach monitoringowych, położonych w 13 europejskich podprowincjach fizycznogeograficznych na terenie Niemiec, Polski, Białorusi, Litwy, Łotwy, Estonii i Finlandii, (Degórski 2002). W sumie analizą gleboznawczą objęto 418 profili gleb bielicoziemnych, zakładanych według przyjętych założeń wstępnych, wśród których do najważniejszych warunków, które spełniać musiało każde z badanych siedlisk, należy wymienić: autogeniczność gleby o endoperkolatywnym typie gospodarki wodnej, teren poniżej 300 m n.p.m., usytuowanie na powierzchni płaskiej o spadkach poniżej 2°, przepuszczalny materiał skalny, glacyjfluwalny typ osadów, ekosystem leśny z dominującą w drzewostanie sosną, drzewostan w wieku minimum 80 lat, brak bezpośredniego oddziaływania człowieka na ekosystemy.

Do dalszej analizy geograficzno-gleboznawczej wybrano gleby bielcowe właściwe (tab. 1).

Dla każdej z nich oznaczono następujące właściwości: miąższość poziomów gleby, barwę gleby, skład mineralny; obróbkę preparowanych ziarn kwarcu o średnicy 0,5-1 mm, uziarnienie, gęstość objętościową ( $G_o$ ) w próbkach o nienaruszonej strukturze, gęstość właściwą ( $G_w$ ); wilgotność chwilową ( $W$ ), połowę pojemności wodną ( $PPW$ ), maksymalną kapilarną pojemność wodną ( $KPW_{max}$ ), maksymalną higroskopijność ( $MH$ ), skład frakcyjny próchnicy w poziomach organicznych i próchnicznych, aktywność dehydrogenazy mleczanowej w poziomach organicznych i próchnicznych, zawartość węgla organicznego ( $C_{to}$ ), węgiel organiczny po ekstrakcji pirofosforanem sodu ( $C_p$ ), gęstość objętościową węgla organicznego ( $D_c$ ) i zapas węgla ( $M_c$ ), odczyn ( $pH_{H_2O}$  i  $pH_{KCl}$ ), azot ogólny ( $N$ ), azot azotanowy ( $N-NO_3^-$ ), azot amonowy ( $N-NH_4^+$ ), fosfor ogółem ( $P_o$ ), fosfor dostępny dla roślin ( $P_a$ ), kationy wymienne ( $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $K^+$ ,  $Na^+$ ), kwasowość hydrolityczną ( $H_h$ ); glin wymienny ( $Al^{3+}$ ), kwasowość wymienną ( $H_w$ ), żelazo ( $Fe_p$ ), glin ( $Al_p$ ) i węgiel ( $C_p$ ) związane w kompleksach próchnicy z półtoratlenkami, w wyciągu 0,1M pirofosforanu sodu, zawartość żelaza ( $Fe_z$ ) ekstrahowaną 20% HCl, żelazo amorficzne ( $Fe_o$ ) i glin amorficzny ( $Al_o$ ), wolne żelazo ( $Fe_d$ ) w wyciągu cytrynianowym z ditionitem sodu. Obliczono również: porowatość ogólną ( $P_o$ ) jako  $(G_w - G_o)/G_w$ ; pojemność powietrzną ( $P_p$ ) jako  $P_o - PPW$ ; sumę zasadowych kationów wymiennych ( $S$ ) jako sumę  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $K^+$ ,  $Na^+$ ; pojemność kompleksu sorpcyjnego ( $T$ ) jako  $H_h + S$ ; stopień wysycenia gleb kationami o charakterze zasadowym ( $V$ ) jako  $S/T \times 100\%$ ; wskaźnik elastyczności gleb ( $U_i$ ), jako  $\sum Ca^{2+}Mg^{2+}T^{-1}$ ; zawartość nieorganicznych form żelaza ( $Fe_{ac}$ ) jako  $Fe_o - Fe_p$ ; zawartość nieorganicznych form glinu ( $Al_{ac}$ ) jako  $Al_o - Al_p$ ; zawartość krzemianowych form żelaza ( $Fe_{gk}$ ) jako  $Fe_z - Fe_d$ ; zawartość niekrzemianowych, krystalicznych form żelaza ( $Fe_{kr}$ ) jako  $Fe_d - Fe_o$ .

Na podstawie właściwości gleb określonych dla poszczególnych poziomów genetycznych i diagnostycznych w każdym z badanych profili, obliczono wzajemne podobieństwo pomiędzy profilami, wykorzystując do tego celu analizę skupień. Otrzymane wyniki z analizy statystycznej posłużyły do wyznaczenia regionów o największym podobieństwie wewnętrznym, zaś statystycznie istotnie różniących się pomiędzy sobą (ryc.1). Wydzielono dwie strefy i pięć podstref regionalnych:

Tab. 1. Geograficzne położenie badanych profili gleb  
 Table 1. Geographical locations of studied soils

Numer profilu Profile No	Położenie badanych gleb, <i>Localization of soils investigated</i>				
	Państwo State	Podprowincja Subprovince	Miejscowość Locality	Szerokość geograficzna Geographical width N	Długość geograficzna Geographical length E
1	2	3	4	5	6
1*	Finlandia	Laponia	Kevo	69°44'46,48"	27°01'20,78"
2*			Kessi	69°01'23,21"	28°30'21,56"
3*			Oulanka	66°21'33,45"	29°21'34,12"
4*			Tennila	66°56'23,45"	25°56'21,34"
5*		Ostrobotnia	Muhos	64°43'25,45"	26°01'48,40"
6*		Pojezierza Fińskie	Luopioinen	61°32'34,28"	24°48'35,44"
7*			Lammi	61°09'34,21"	25°00'12,08"
8			Hattula	61°11'45,38"	24°50'12,34"
9			Vitsiola	61°05'23,78"	24°55'57,32"
10*			Punkaharju	61°39'41,64"	29°16'54,88"
11*	Estonia		Tipu	58°18'59,84"	24°59'37,82"
12*	Łotwa	Jaunjelgava	56°37'22,24"	24°53'16,61"	
13*	Litwa	Pojezierza Wschodniobałtyckie	Mincia	55°25'50,32"	26°01'05,70"
14			Strazdai	55°08'31,45"	26°09'46,12"
15*			Plaska	53°52'27,92"	23°18'30,14"
16*	Polska	Wysoczyzny Podlasko-Białoruskie	Browsk	52°53'19,32"	23°37'10,05"
17*		Północne Podkarpacie	Józefów	50°28'38,42"	22°59'29,06"
18	Białoruś	Wysoczyzny Podlasko-Białoruskie	Baranowicze	52°56'47,68"	25°53'04,32"
19*			Krasna Swoboda	52°48'14,76"	27°08'51,96"
20		Nizina Berezynsko-Desnańska	Soligorsk	52°52'24,54"	28°25'49,66"
21			Bychow	53°14'22,35"	30°12'44,27"
22*			Słowgorod	53°25'28,43"	31°06'47,80"
23			Chotimsk	53°20'57,29"	32°37'38,00"
24*			Uzłogi	53°20'53,58"	32°35'54,04"
25	Niemcy	Pojezierza Zachodniobałtyckie	Chrisdorf	53°06'08,50"	12°25'47,91"
26*	Polska	Pojezierza Południowobałtyckie	Namyślin	52°39'41,36"	14°32'11,47"
27			Gościm	52°44'22,33"	15°42'21,82"
28*			Krucz	52°47'17,81"	16°26'13,96"
29*			Bobrowniki	52°48'50,93"	19°00'44,18"
30			Skrwilno	52°48'10,81"	19°19'49,27"
31		Niziny Środkowopolskie	Glinojec	52°49'36,93"	20°19'28,70"
32*			Glinojec	52°38'08,32"	22°16'57,40"
33			Brok	52°40'36,50"	21°42'37,45"
34			Nowe Miasto	51°35'02,64"	20°37'05,36"
35*			Wyżyna Środkowomłopolska	Miedzierza	51°06'28,38"
36	Wyżyna Śląsko-Krakowska	Złoty Potok	50°43'16,10"	19°32'17,15"	
37		Złoty Potok	50°20'59,05"	19°39'12,63"	
38*	Niziny Środkowopolskie	Tworóg	50°34'56,20"	18°44'21,35"	
39		Kuźnia Raciborska	50°10'58,78"	18°20'35,18"	

\* badane gleby biellicowe;  
 \* podzolic soils investigated



Ryc. 1. Podział geograficzno-glebowy badanego obszaru oraz lokalizacja badanych gleb

I. holoceneskie i późnowistuliańsko-holoceneskie gleby bielicoziemne borów i borów mieszanych roślinnej formacji mezofilnych i higromezofilnych lasów szpilkowych klimatu umiarkowanie chłodnego:

Ia. mezoholocenesko-neoholoceneskie gleby bielicowe iluwialno-humusowe,

Ib. późnowistuliańsko-holoceneskie gleby bielicowe wykształcone z osadów eoholocenu i późnego wistulianu,

II. plejstocenesko-holoceneskie gleby bielicoziemne borów i borów mieszanych roślinnej formacji mezofilnych lasów i borów mieszanych klimatu umiarkowanie ciepłego:

IIa. pleniwistuliańsko-holoceneskie gleby bielicowe, wykształcone z osadów pleniwistulianu,

IIb. neoplejstocenesko-holoceneskie gleby bielicowe, wykształcone z osadów stadiału Warty zlodowacenia Odry,

IIc. mezo- i neoplejstocenesko-holoceneskie gleby bielicowe, wykształcone z osadów zlodowacenia Sanu II oraz stadiału przedmaksymalnego i maksymalnego zlodowacenia Odry.

Fig.1. Geographical-soil division of studied area and location of research plots

I. The Holocene and Late Vistulian-Holocene podzolic soils of pine and mixed/pine forests of the vegetational formation of mesophilic and higromesophilic needle forests of cool-temperate climate

Ia. Meso-Holocene or youngest neo-Holocene podzolic soils,

Ib. Late Vistulian-Holocene podzolic soils, developed from eo-Holocene and Late Vistulian sediments,

II. Pleistocene-Holocene podzolic soils of pine and mixed/pine forests of the vegetational formation of mesophilic deciduous and coniferous forests in the zone of warm-temperate climate:

IIa. Plenivistulian-Holocene podzolic soils, developed from Plenivistulian sediments,

IIb. Neo-Pleistocene-Holocene podzolic soils, developed from sediments of the Warta stage of the Oder Glaciation,

IIc. Meso- and neo-Pleistocene-Holocene podzolic soils, developed from the sediments of the Sanu II Glaciation and the pre-maximal and maximal stages of the Oder Glaciation

**Strefa I** - holoceneskie i późnowistuliańsko-holoceneskie gleby bielicoziemne borów i borów mieszanych roślinnej formacji mezofilnych i higromezofilnych lasów szpilkowych klimatu umiarkowanie chłodnego:

- mezoholocenesko-neoholoceneskie gleby bielicowe iluwialno-humusowe regionalnej formacji roślinnej północnoborealnych lasów szpilkowych,
- późnowistuliańsko-holoceneskie gleby bielicowe wykształcone z osadów eoholocenu i późnego wistulianu,

**Strefa II** - plejstocenesko-holoceneskie gleby bielicoziemne borów i borów mieszanych roślinnej formacji mezofilnych lasów i borów mieszanych klimatu umiarkowanie ciepłego:

- pleniwistuliańsko-holoceneskie gleby bielicowe, wykształcone z osadów pleniwistulianu,
- neoplejstocenesko-holoceneskie gleby bielicowe, wykształcone z osadów stadiału Warty zlodowacenia Odry,
- mezo- i neoplejstocenesko-holoceneskie gleby bielicowe, wykształcone z osadów zlodowacenia Sanu II oraz stadiału przedmaksymalnego i maksymalnego zlodowacenia Odry.

### 3. Wyniki

#### 3.1. Charakterystyka badanych gleb

Wszystkie spośród badanych gleb spełniają kryteria morfologiczne i chemiczne gleb bielcowych, zarówno wynikające z uwarunkowań Polskiej Systematyki Gleb (1989) i Klasyfikacji Gleb Leśnych Polski (2000), jak również Klasyfikacji Zasobów Glebowych Świata (WRB, 1998). Wszystkie cechują się typową dla gleb bielcowych sekwencją poziomów genetycznych i diagnostycznych, o charakterystycznej barwie, miąższości i właściwościach chemicznych. Wykształcone zostały z ubogich piasków glaciofluwialnych, zbudowanych głównie z kwarcu, którego zawartość waha się od 50% w glebach położonych na północy obszaru badawczego do 97% w glebach jego części południowej. Charakteryzują się kwaśnym odczynem (pH w H<sub>2</sub>O od 3,1 - 3,9 w poziomie próchnicznym do 4,8-5,0 w skale macierzystej), szerokim stosunkiem C:N (powyżej 15 w poziomie próchnicznym) i przewagą kwasów fulwowych w składzie frakcyjnym próchnicy. Badane gleby spełniają również kryteria istotności procesu iluwacji w procesie pedogenezy, określonych według wskaźników chemicznych (Konecka-Betley 1968; Mokma, Buurman 1982; Bednarek, Pokojska 1996) oraz wskaźników diagnostycznych dla poziomu spodic (Mokma, Buurman 1982; Mokma 1983; Bednarek 1991; WRB 1998). Wśród nich wymienić można:

- zawartość amorficznego żelaza i glinu w poziomie wzbogacania, którego wartości wahają się od 0,35% w południowej części obszaru badań do 1,16% w jego części północnej,
- wskaźnik przemieszczania amorficznych form żelaza i glinu, określony jako stosunek ich zawartości w poziomie eluwialnym (albic) do poziomu wzbogacania (spodic), wyrażony matematycznie jako:  $(Al_o + 0,5 Fe_oB)/(Al_o + 0,5 Fe_oE)$ , którego wartości wahają się od 3,8 do 20,8 w glebach północnych regionów oraz położonych we wschodniej części obszaru badań,
- wskaźnik iluwacji (Wi) określony przez Mokmę (1983) jako:  $\sum_B C_p Al_p Fe_p - \sum_A C_p Al_p Fe_p$ , którego wartości wahają się od 1,03 w glebach północnej Laponii do 2,29 na Nizinie Berezyno-Desnańskiej,
- wskaźnik przemieszczania wolnego żelaza  $Wp_{Fe}$ , zaproponowany przez K. Konecką-Betley

(1968) określony jako stosunek zawartości  $F_d$  w dwu sąsiednich poziomach genetycznych: próchniczno-eluwialnym lub eluwialnym, którego wartości wahają się od 2,7 do 27,5 w glebach położonych w północnych regionach obszaru badań,

- stosunek molowy węgla organicznego do sumy glinu i żelaza oznaczonych w wyciągu pirofosforanowym -  $C_p/(Al_p+Fe_p)$  - (Mokma, Buurman 1982), którego wartości w poziomach diagnostycznych spodic wahały się od 6,6 do 23,7, zaś w poziomach albic od 29 do 103,6 w glebach Laponii,
- wskaźnik zawartości kompleksów żelazowo-glinowo-próchnicznych w poziomie diagnostycznym spodic ( $C_p+Al_p+Fe_p$ ), którego wartości wahały się od 1,0% w do 2,64% w glebach Niziny Berezyno-Desnańskiej,
- wskaźnik przemieszczania kompleksów żelazowo-glinowo-próchnicznych, określane jako relacja ich zawartości w poziomie próchnicznym a diagnostycznym spodic (Mokma, 1983), którego wartości wahały się od 73 do 159% w pedonach najstarszych lub też obecnie znajdujących się w aktywnym środowisku pedogenicznym.

Wartości wskaźników charakteryzują się jednak pewnym zróżnicowaniem przestrzennym. Podobnie, niektóre z badanych właściwości gleb wykazują taką samą tendencję i uznać je można za cechy diagnostyczne geograficznego zróżnicowania analizowanych pedonów. Głównie to te właściwości zadecydowały o przyjętym podziale geograficzno-glebowym badanego obszaru. Wśród właściwości gleb, które wykazywały statystycznie istotny związek z położeniem geograficznym należy wymienić: miąższość poziomu organicznego, miąższość solum gleby, zawartość minerałów nieodpornych we frakcji ciężkiej gleby, niejednorodność granulometryczną substratu glebowego, stopień obróbki materiału litologicznego, deficyt wilgotności chwilowej w stosunku do połowej pojemności wodnej, stosunek zapasu wody glebowej w stanie połowej pojemności wodnej do zapasu w stanie kapilarnej pojemności wodnej, pojemność powietrzną, zapas węgla organicznego, stosunek zawartości węgla kwasów huminowych do węgla kwasów fulwowych, stopień humifikacji, aktywność dehydrogenazy mleczanowej, zawartość fosforu ogółem i dostępnego dla roślin, zawartość

wymiennego glinu, zawartość wymiennego wodoru, kwasowość wymienna, relacje pomiędzy formami glinu i żelaza.

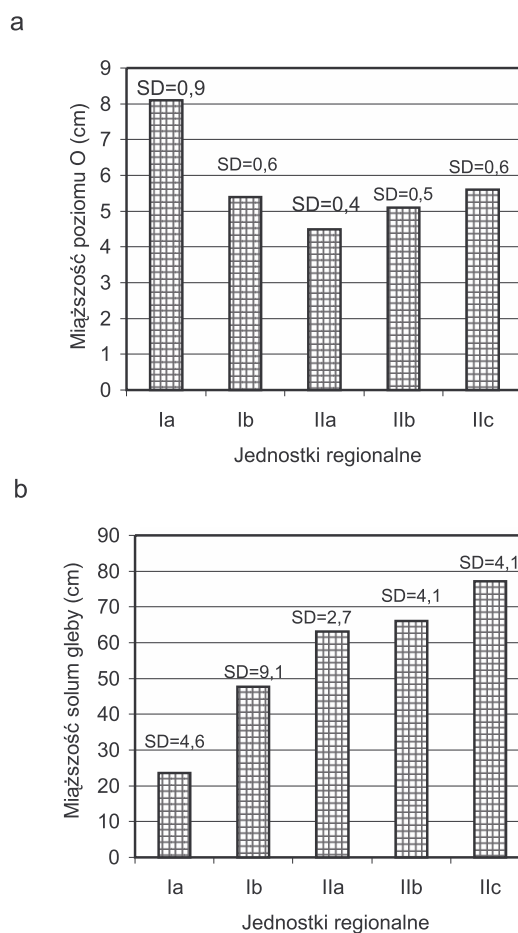
### 3.2. Charakterystyka właściwości gleb bielcowych w wydzielonych regionach geograficzno-glebowych

Przestrzenne zróżnicowanie właściwości gleb bielcowych na badanym obszarze środkowej i północnej Europy cechuje się szerokim spektrum wartości, a wydzielone na podstawie analizy matematycznej regiony geograficzno-glebowe charakteryzują się istotnie statystycznie różnym rozkładem wartości. Każdy z nich posiada swoiste cechy środowiska geograficznego, kształtowane przez zespół czynników w określonym czasie. Odrębność każdego z wydzielonych regionów oraz jego specyfikę można scharakteryzować za pomocą właściwości gleb, które są doskonałym indykatorem dynamicznych zmian jakie zachodzą w systemie środowiska geograficznego.

Spośród regionów fizycznogeograficznych, wydzielona strefa gleb bielcowych borów i borów mieszanych roślinnej formacji mezofilnych i higromezofilnych lasów szpilkowych klimatu umiarkowanie chłodnego obejmuje obszar Laponii, Ostrobotnii, Pojezierzy Fińskich i Wschodniobałtyckich. Inicjacja procesów glebotwórczych w tej strefie zaczęła się od późnego plejstocenu w jego części południowej, do eoholocenu i mezoholocenu w jego części północnej. Gleby tego obszaru, szczególnie w jego części północnej, charakteryzują się bardzo aktywnym środowiskiem pedogenicznym, z wyraźnym współczesnym przebiegiem procesu bielcowania. Zmienność przestrzenna właściwości gleb w obrębie tej strefy wykazuje wyraźną dwudzielność na dwie podstrefy; północną i południową.

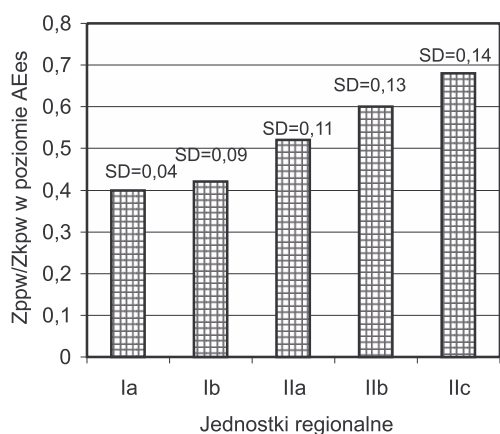
Podstrefa północna strefy gleb bielcowych borów i borów mieszanych roślinnej formacji mezofilnych i higromezofilnych lasów szpilkowych obejmuje mezoholoceno-neoholoceno bielcowe gleby iluwialno-humusowe borów regionalnej formacji roślinnej północnoborealnych lasów szpilkowych. Spośród badanych regionów fizycznogeograficznych w podstrefie tej znalazła się tylko Laponia. Charakteryzuje się ona klimatem bardzo silnie humidowym, o znaczącej przewadze opadów nad parowaniem. Obszar tej podstrefy jest współcześnie bardzo aktywnym środowiskiem

pedogenicznym, a substratem gleb są najmłodsze osady eoholocenu i mezoholocenu. Gleby jej odznaczają się małą miąższością, która nie przekracza 30 cm (ryc. 2). Ich gospodarka wodna charakteryzuje się intensywnym przemywaniem oraz małymi zdolnościami retencyjnymi, czemu sprzyja materiał glacyjfluwalny odznaczający się dużym udziałem ziarn piasku grubego i frakcji żwirowo-kamienistej (ryc. 3). Ze wszystkich badanych profili glebowych, piaski te zawierają najmniej (od 1 do 9%) ziarn obtoczonych (typ starczy -  $\gamma$ ) i najwięcej ziarn graniastych (typ młodociany -  $\alpha$ ), których zawartość przekracza 40%. Wskazuje to na pierwotne wietrzenie substratu jakie zachodzi na tym obszarze, głównie kriogeniczne.



Ryc.2. Wybrane właściwości morfologiczne określone dla wydzielonych jednostek geograficzno-glebowych  
a – miąższość poziomu organicznego;  
b – miąższość solum gleby

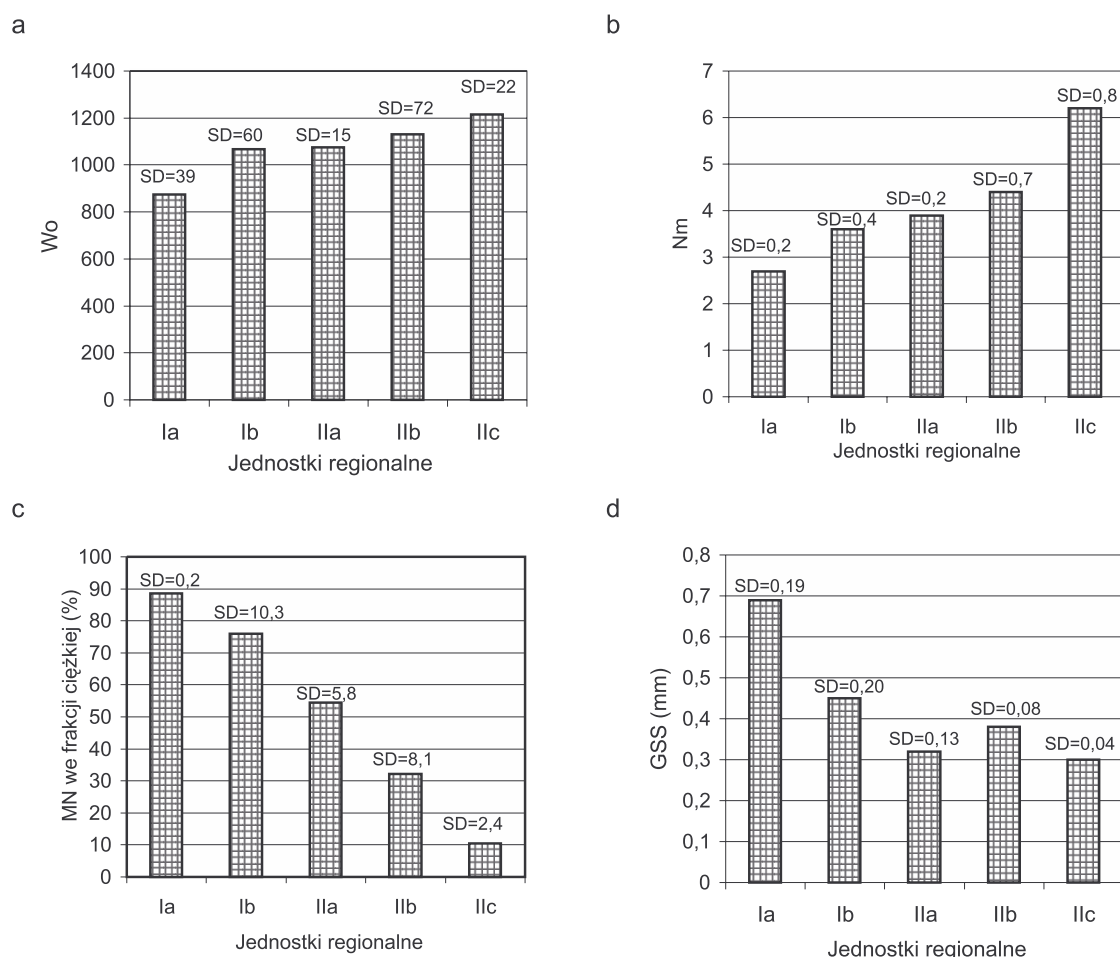
Fig.2. Some morphological features of podzolic soil characteristic for the obtained soil regional units  
a – thickness of organic horizon;  
b – thickness of soil solum



Ryc.3. Zależność pomiędzy zapasem wody glebowej w stanie polowej pojemności wodnej ( $Z_{PPW}$ ) i kapilarnej pojemności wodnej ( $Z_{KPW}$ )

Fig.3. Relationship between water stocks in field capacity ( $Z_{PPW}$ ) and capillary capacity ( $Z_{KPW}$ )

Gleby te charakteryzują się również najniższym stopniem obróbki ziarna substratu ( $W_o$  osiąga wartości od 800 do 1000) – rycina 4. Typowa jest dla nich znaczna akumulacja próchnicy w poziomie organicznym (miąższość około 8–10 cm) oraz większa aktywność biologiczna w górnej części poziomu próchnicznego w porównaniu z poziomem organicznym. Wskazuje to, między innymi, na większą aktywność dehydrogenazy w poziomie próchnicznym i termoregulacyjną rolę poziomu organicznego. W składzie frakcyjnym próchnicy dominują kwasy fulwowe pierwszej ekstrakcji (związane z ruchliwymi formami  $R_2O_3$ ), a stosunek kwasów fulwowych do huminowych jest mniejszy od 0,4. Stosunek węgla organicznego ogółem do azotu ogółem (C:N) jest najszerszy spośród badanych gleb (ryc. 5), jak i charakteryzują się one największą kwaso-



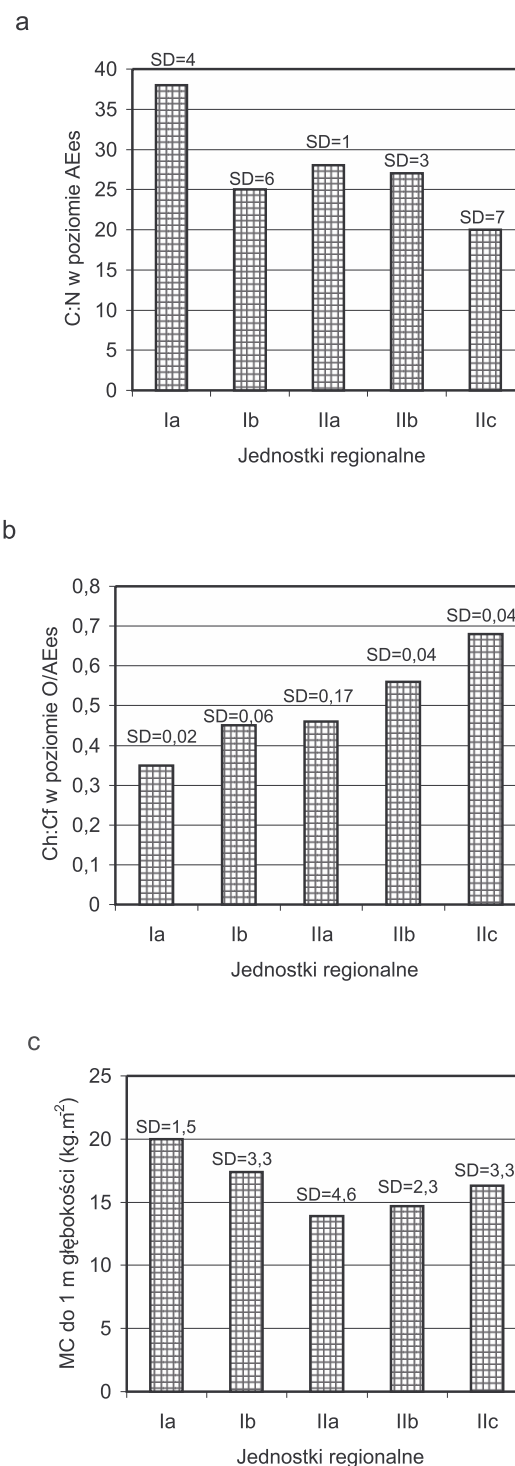
Ryc.4. Wybrane właściwości substratu gleb określone dla wydzielonych jednostek geograficzno-glebowych a- wskaźnik obróbki ziaren ( $W_o$ ), b - wskaźnik niejednorodności materiału ( $N_m$ ), c - wskaźnik zawartości minerałów nieodpornych, d - średnia średnica ziarna ( $GSS$ )

Fig.4. Some properties of soil substratum determined for the obtained soil regional units a – quartz grain abrasion index ( $W_o$ ), b – index of non homogeneity ( $N_m$ ), c – index for the content of unresistant minerals ( $MN$ ), d – mean diameter of grain index ( $GSS$ )

wością wymienną (ryc. 6). Dominuje forma amonowa azotu, co sprzyja rozwojowi ekosystemów sosnowych. Intensywność procesów wietrzenia kriogenicznego, zarówno fizycznego, jak i chemicznego przyspiesza rozkład glinokrzemianów. Gleby te zawierają znaczne ilości żelaza wolnego ( $Fe_d$ ) oraz amorficznych form żelaza ( $Fe_o$ ) i glinu ( $Al_o$ ), jak i posiadają najwyższą zawartość krzemianowych form żelaza ( $Fe_{gk}$ ) – rycina 7. Proces bielcowania przebiega bardzo intensywnie, co potwierdzają bardzo wysokie wartości wskaźników: iluwiacji (określonego według kryteriów Mokmy - 1983), zawartości kompleksów żelazisto-glinowo-próchnicznych w poziomie wzbogacania ( $C_p + Al_p + Fe_p$ ), przemieszczania amorficznego żelaza i glinu ( $Al_o + Fe_o$  w poziomie B do  $Al_o + Fe_o$  w poziomie E) oraz przemieszczania wolnego żelaza ( $Fe_d$  w poziomie B do  $Fe_d$  w poziomie E lub AE) – rycina 8.

Południowa podstrefa strefy gleb bielcowych borów i borów mieszanych roślinnej formacji mezofilnych i higromezofilnych lasów szpilkowych to holocenijskie gleby bielcowe borów i borów mieszanych. Wykształcone z osadów późnego vistulianu występują współcześnie w warunkach klimatu silnie humidowego, w strefie regionalnej formacji roślinnej środkowo- i południowoborealnych lasów szpilkowych. Wśród badanych podprovincji fizycznogeograficznych, ich występowanie odnotowano w Ostrobotnii, na Pojezierzach Fińskich i Pobrzeżu Wschodniobałtyckim. W porównaniu z glebami północnoborealnych lasów szpilkowych charakteryzują się one większą miąższością oraz lepszymi właściwościami fizycznymi (ryc. 2 i 3). Materiał skalny, w którym wykształcone zostały badane gleby cechuje się w porównaniu z pedonami Laponii lepszym obtoczeniem i przesortowaniem (ryc. 4). Gleby tej podstrefy zawierają również znacznie więcej materii organicznej. W składzie frakcyjnym próchnicy zwiększa się udział kwasów huminowych, jakkolwiek stosunek kwasów fulwowych do huminowych jest nadal bardzo mały i wynosi od 0,4 do 0,6 (ryc. 5). Ciepleszy klimat w porównaniu z obszarami Laponii sprawia, że największą aktywnością biologiczną charakteryzuje się poziom organiczny, w którym aktywność dehydrogenazy mleczanowej jest większa niż w poziomie próchnicznym. W regionie tym zarejestrowano również najwyższe wartości kwasowości wymiennej (ryc. 6).

Drugą strefą wydzieloną na podstawie zróżnicowania przestrzennego właściwości badanych pedo-



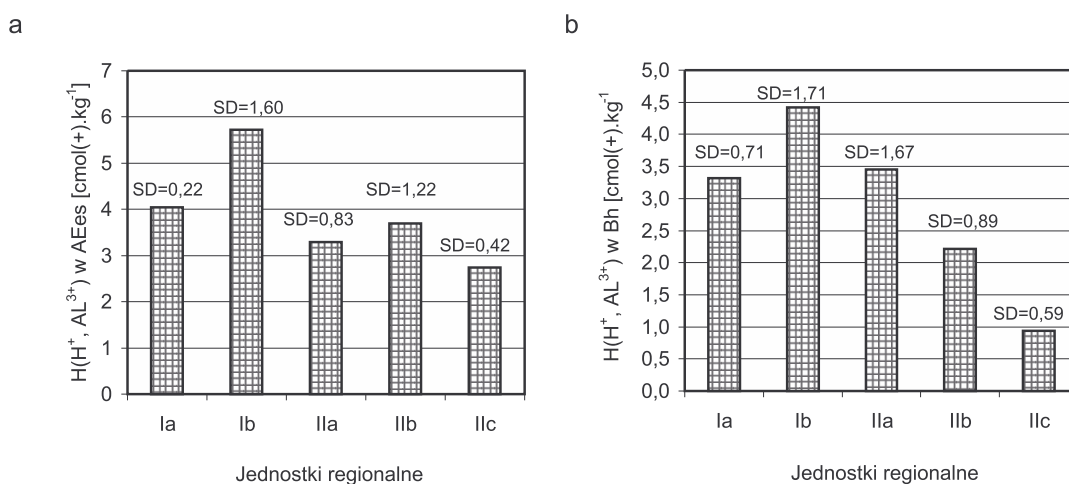
Ryc.5. Wybrane właściwości próchnicy badanych gleb bielcowych określone dla wydzielonych jednostek geograficzno-glebowych a – C:N, b – Ch:Cf, c – zapas węgla organicznego w pedonie o powierzchni 1 m<sup>2</sup> i głębokości 1m

Fig.5. Some humus properties of podzolic soil determined for the obtained soil regional units a – C:N ratio, b – Ch:Cf, c – carbon storage determined for the pedon about 1 m<sup>2</sup> surface, contains organic horizon and mineral part to the 1 m deep



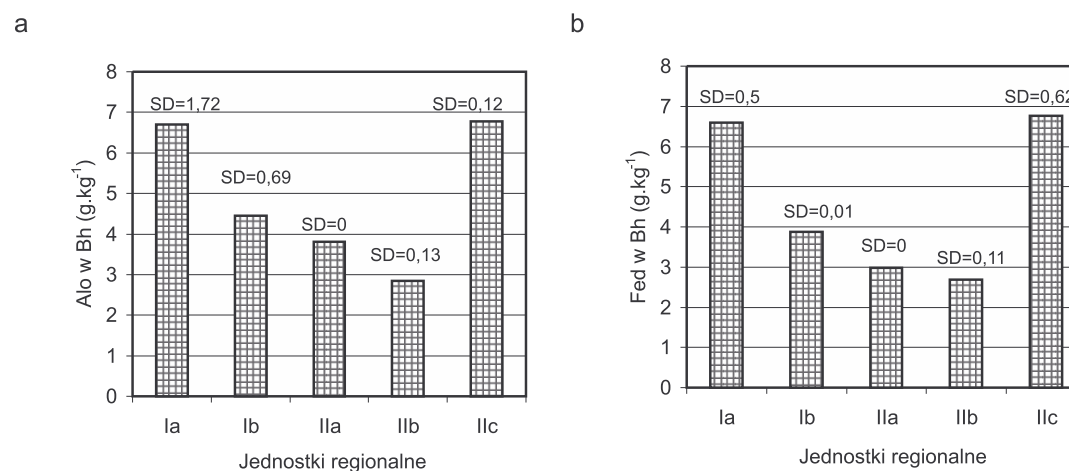
nów są gleby bielcowe borów i borów mieszanych roślinnej formacji mezofilnych lasów i borów mieszanych klimatu umiarkowanie ciepłego. Strefa ta rozciąga się na Niziu Europejskim i obejmuje podprovincje fizycznogeograficzne, od Pojezierzy Zachodniobałtyckich do Niziny Berezyno-Desnańskiej. Strefa ta również jest zróżnicowana wewnątrz, zarówno pod względem warunków środowiska geograficznego, jak i właściwości pokrywy glebowej, której inicjacja pedogeniczna odbywała się w różnym czasie. Na podstawie analizy statystycznej zróżnicowania przestrzennego wielu cech i właściwości badanych gleb, omawianą strefę podzielono na trzy podstrefy: zachodnią, centralną i wschodnią.

Podstrefa zachodnia strefy gleb bielcowych borów i borów mieszanych roślinnej formacji mezofilnych lasów i borów mieszanych klimatu umiarkowanie ciepłego, obejmuje podprovincje Pojezierzy Zachodnio- i Południobałtyckich. Występują tu późnowistuliańsko-holocenijskie gleby bielcowe, wykształcone z osadów pleniwistulianu, będące współcześnie w warunkach umiarkowanie humidowego klimatu oraz nizinnej strefie regionalnej formacji lasów mieszanych. Podobnie jak w Laponii i Pojezierzach Fińskich gleby te charakteryzują się największą zawartością amorficznych form żelaza i glinu oraz małym udziałem form krystalicznych Fe, co świadczy o ich młodym wieku (ryc. 7 i 8). Niewielki stopień zwietrzenia mate-



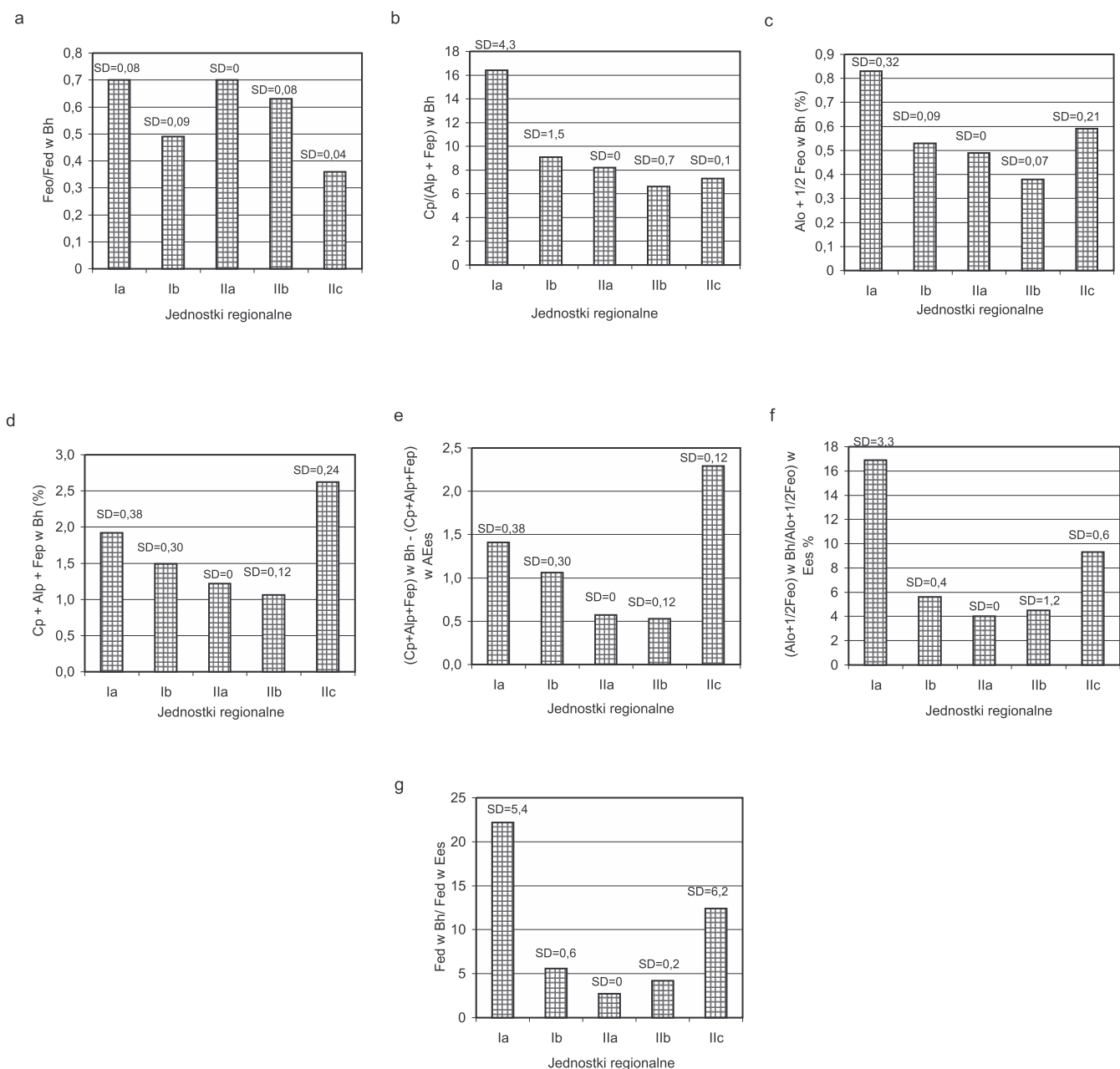
Ryc.6. Kwasowość wymienna  $H(H^+, Al^{3+})$  w poziomach AEes i Bh gleb bielcowych określona dla wydzielonych jednostek geograficzno-glebowych

Fig.6. Exchange acidity  $H(H^+, Al^{3+})$  in AEes and Bh horizons of podzolic soil determined for the obtained soil regional units



Ryc.7. Zawartość amorficznej formy glinu (Alo) i wolnego żelaza (Fed) w poziomie Bh gleb bielcowych określona dla wydzielonych jednostek geograficzno-glebowych

Fig.7. Content of amorphous aluminium (Alo) and free iron (Fed) in Bh horizon of podzolic soil determined for the obtained soil regional units



Ryc.8. Wybrane charakterystyki chemicznych kryteriów oceny procesu bielcowania określone dla badanych gleb w wydzielonych jednostkach geograficzno-glebowych

a - wskaźnik aktywności bielcowania (wg. Schwertmann 1964), b - kompleksów nieruchliwych (wg. Mokmy 1983), c- zawartości amorficznego żelaza i glinu w poziomie wzbogacania, wg WRB (1998), d - zawartości kompleksów żelazisto-glinowo-próchnicznych w poziomie wzbogacania, wg Mokmy (1983), e - iluwiacji według Mokmy (1983), f - przemieszczania amorficznego żelaza i glinu wg WRB (1998), g - przemieszczania wolnego żelaza, wg Koneckiej-Betley (1968)

Fig.8. Some characteristics of chemical criteria of podzolice process determined for the obtained soil regional units a – index of process activity (according to Schwertmann 1964) determined for Bh horizon, b - molar ratio between elements of iron-aluminium-humus complexes in Bh horizon (according to Mokma 1983), c - content of amorphous iron and aluminium in Bh horizon (according to WRB 1998), d - content of iron-aluminium-humus complexes (according to Mokma 1983) in Bh horizon, e – index of illuviation (according to Mokma 1983), f - index for the movement of amorphous iron and aluminium (according to WRB 1998), g - index for the movement of free iron (according to Konecka Betley 1968)

rialu glebowego potwierdza również duży udział minerałów nieodpornych w składzie mineralnym frakcji ciężkiej (ryc. 4) oraz duży udział formy krzemianowej żelaza ( $Fe_{gk}$ ). Charakteryzują się one także bardzo niskim udziałem kwasów huminowych w składzie frakcyjnym próchnicy (ryc. 5).

Podstrefa centralna strefy gleb bielcowych borów i borów mieszanych roślinnej formacji mezofilnych lasów i borów mieszanych klimatu umiarkowanie ciepłego, to wistuliańsko-holocenijskie gleby bielcowe, o wielofazowym cyklu rozwoju, wykształcone z osadów stadiału Warty zlodowacenia Odry. W podstrefie tej znalazły się fizyczno-geograficzne podprowincje: Niziny Środkowopolskie, Wyżyna Środkowomłopolska i Wyżyna Śląsko-Krakowska. Współcześnie gleby te funkcjonują w warunkach dostatecznie humidowego klimatu, w strefie nizinnej postaci lasów. Geograficzna przejściowość obszaru, na którym wykształcone są omawiane gleby wpłynęła również na ich właściwości, których wartości są pośrednie pomiędzy charakterystycznymi dla obszarów podstrefy zachodniej i wschodniej o najstarszej pokrywie glebowej (ryc. 2-8).

Podstrefa wschodnia strefy gleb bielcowych borów i borów mieszanych roślinnej formacji mezofilnych lasów i borów mieszanych klimatu umiarkowanie ciepłego, to plejstocenijsko-holocenijskie gleby bielcowe, o wielofazowym cyklu rozwoju, wykształcone z osadów stadiału przedmaksymalnego i maksymalnego zlodowacenia Odry. Obejmuje ona Pojezierza Wschodniobałtyckie, Wysoczyzny Podlasko-Białoruską i Nizinę Berezyńsko-Desnańską. Współcześnie znajduje się w warunkach klimatu silnie humidowego, w strefie nizinnej postaci regionalnej formacji roślinnej hemiborealnych i nemoralnych borów sosnowych.

Z uwagi na najdłuższy okres oddziaływania czynników egzogenicznych na substrat glebowy, pedony tej podstrefy charakteryzują się najlepszymi właściwościami fizycznymi spośród badanych pedonów (ryc. 3). W składzie granulometrycznym stwierdzono największy udział frakcji pyłu i iłu. Charakteryzują się one również największą zawartością materii organicznej (ryc. 5), co łącznie z uziarnieniem ma wpływ na ich najkorzystniejszą porowatość. We wschodniej części podstrefy, podobnie jak w północnej Skandynawii, większą aktywnością biologiczną odznacza się górna część poziomu próchnicznego, w porównaniu

z poziomem organicznym. W składzie frakcyjnym próchnicy dominują kwasy fulwowe pierwszej ekstrakcji, podobnie jak w glebach innych jednostek geograficznych, ale stosunek kwasów fulwowych do huminowych jest największy i wynosi 0,6-0,7 (ryc. 5). Stosunek węgla organicznego ogółem do azotu ogółem (C:N) jest w omawianej podstrefie największy i wynosi dla poziomów próchnicznych badanych gleb - 24, podpoziomu wzbogacania Bh - 26 oraz poziomu wzbogacania Bfe - 11. Stosunek azotu do węgla organicznego potwierdza największą aktywność biologiczną tych gleb, wyrażoną również poprzez aktywność dehydrogenazy mleczanowej.

Gleby podstrefy wschodniej wyróżniają się także większym udziałem kationów dwuwartościowych w kompleksie sorpcyjnym, jak i stopniem wysycenia kompleksu sorpcyjnego kationami o charakterze zasadowym. O większym udziale kationów dwuwartościowych zdecydował w tych glebach wzrost wtórnych minerałów ilowych w stosunku do gleb młodszych, powstałych w innych podstrefach regionalnych. Długotrwałe oddziaływanie czynników destrukcji na substrat glebowy oraz przebieg procesów pedogenicznych widoczny jest nie tylko w teksturalnych właściwościach sedymentów (np. bardzo mały udział minerałów nieodpornych we frakcji ciężkiej materiału litologicznego), ale również we właściwościach fizyko-chemicznych gleb. Najlepiej oddają to diagnostyczne wskaźniki chemiczne. Gleby omawianej podstrefy regionalnej charakteryzują się najwyższą wartością wskaźnika  $Fe_d/Fe_z$ , co potwierdza ich najsilniejsze zwietrzenie (najwięcej krzemianów Fe zamienionych w tlenki) oraz najniższym stosunkiem  $Fe_o$  do  $Fe_d$  świadczącym o „starości” strąconych tlenków Fe i ich krystalizacji (Bednarek, Pokojska 1996), pomimo, że warunki klimatyczne panujące w omawianej podstrefie nie sprzyjają tym procesom, co jest doskonałym przykładem niezgodności (dyskontynuacji) badanych polipledonów z współczesnymi warunkami środowiska przyrodniczego. Bardzo długo trwający oraz intensywny proces bielcowania pedonów w podstrefie wschodniej potwierdza również wyższa wartość wskaźnika iluwacji ( $\sum_B C_p Al_p Fe_p - \sum_A C_p Al_p Fe_p$ ), jak i wskaźnika zawartości amorficznego żelaza i glinu ( $Al_o + "$  Fe<sub>o</sub> w poziomie B do  $Al_o + "$  Fe<sub>o</sub> w poziomie E lub AE) – rycina 8.

Zaproponowany podział stanowić może uzupełnienie istniejących regionalizacji glebowo-geograficznych (Vołobujew 1973; Głazowska 1981; Buol i in.1989). W porównaniu z nimi, w prezentowanej propozycji podziału geograficznego gleb bielicoziemnych, połączono w jedną jednostkę przestrzenną podstrefę tajgi środkowej i południowej. Zróżnicowanie analizowanych właściwości glebowych w tych dwu podstrefach nie było istotne statystycznie. Jedną z głównych przyczyn, która mogła wpłynąć na uzyskany wynik może wiązać się z analizą przestrzenną pokrywy glebowej zawężoną tylko do gleb leśnych. Według badaczy rosyjskich charakterystyczne dla wylesionych obszarów tajgi południowej są gleby darniowo-bielicowe, których specyfika właściwości fizycznych i chemicznych jest istotnym czynnikiem taksonomicznym w podziale gleb bielicowych bezmarzłociowej strefy tajgi (Głazowska 1981). W świetle obowiązującej w Polsce systematyki gleb, są one bliższe glebom płowym.

W przedstawionym przestrzennym zróżnicowaniu analizowanych gleb zaproponowano również podział strefy gleb bielicoziemnych w pasie klimatu umiarkowanego ciepłego na podstrefy regionalne. Uzyskany przestrzenny podział tego obszaru, wynikający ze zróżnicowanych właściwości gleb istotnych statystycznie, znajduje również potwierdzenie w przyjętej obecnie koncepcji przestrzennego zróżnicowania fizjologiczno-ekologicznych formacji roślinnych Europy (Bohn i in. 1996) oraz w zmienności morfologicznych właściwości substratu, z którego są one wykształcone.

#### 4. Podsumowanie i wnioski

Wyniki przedstawione w artykule dotyczące geograficznego zróżnicowania właściwości gleb bielicowych wskazują na ścisłe zależności jakie zachodzą pomiędzy nimi a zmieniającymi się w czasie uwarunkowaniami abiotycznymi i biotycznymi środowiska przyrodniczego. Bardzo istotny dla współczesnej pokrywy glebowej jest czas jej glebotwórczej inicjacji, złożoność procesów pedogenicznych, ich intensywność oraz wielofazowość pedogenezy. W następstwie kompilacyjnego oddziaływania tych czynników funkcjonują współczesne polipemony.

Reasumując prezentowane wyniki można sformułować dwa generalne wnioski:

1. Przestrzenne zróżnicowanie badanej pokrywy glebowej nawiązuje do czasu inicjacji procesów glebotwórczych, teksturalnych właściwości substratu z którego wykształcone są pedony, współczesnych właściwości higrotermicznych klimatu oraz struktury szaty roślinnej.
2. Przyjęty na podstawie statystycznej analizy zróżnicowania przestrzennego właściwości gleb bielicowych regionalny podział badanego obszaru na jednostki geograficzno-glebowe w randze dwu stref i pięciu podstref jest uzasadniony. Każda z nich charakteryzuje się swoistymi dla siebie cechami gleb, nie zawsze zgodnymi z obecnie panującymi uwarunkowaniami, środowiska przyrodniczego.

#### 5. Literatura

- Bednarek R., 1991:** *Wiek, geneza i stanowisko systematyczne gleb rdzawych w świetle badań paleopedologicznych w okolicach Osia (Bory Tucholskie)*. Rozprawy UMK, Toruń, 102s.
- Bednarek R., Pokojska U., 1996:** *Diagnostyczne znaczenie niektórych wskaźników chemicznych w badaniach paleopedologicznych*. Konferencja „Metody badań paleopedologicznych i wykorzystanie gleb kopalnych w paleopedologii”. Łódź, 25-29
- Bohn U., Katenina G., Komarov J. 1996:** *General Map of Natural Vegetation of Europe, 1: 10 000 000*, Federal Agency for Nature Conservation, Bonn.
- Buol S., Hole F., MC Cracken R.1989:** *Soil genesis and classification*. Iowa State University Press, Ames, 446ss.
- Certini G., Ugolini F. C., Corti G., Agnelli A. 1998:** *Early stages of podzolization under Corsican pine (Pinus nigra Arn. ssp. laricio)*. Geoderma 83, 103-125.
- Degórski M., 2002:** *Przestrzenna zmienność właściwości gleb bielicoziemnych środkowej i północnej Europy a geograficzne zróżnicowanie czynników pedogenicznych*. Prace Geogr. 182, Warszawa, 189ss.
- Głazowska M., A., 1981:** *Gleby kuli ziemskiej*, PWN, 435s
- Gustafsson J., Bhattacharya P., Bain D., Fraser A., McHardy W., 1995:** *Podzolization mechanisms and the synthesis of imogolite in northern Scandinavia*. Geoderma 66, 167-184

- Gustafsson J., Bhattacharya P., Karlton E., 1999:** *Mineralogy of poorly crystalline aluminium phases in the B horizon of Podzols in southern Sweden.* Applied Geochemistry 14(6), 707-718
- Klasyfikacja Gleb Leśnych Polski, 2000:** *Centrum Informacji Lasów Państwowych*, Warszawa, 123s
- Konecka-Betley K., 1968:** *Zagadnienia żelaza w procesie glebotwórczym.* Roczniki Gleb. 19(1), 51-97
- Kowalkowski A., 1995:** *Catena of podzolic soils on the northern slope of Västerskutan in the massif of the Åreskutan.* Jämtland. Quaestiones Geogr. Sp. Issue, 4, 185-193
- Kowalkowski A., 1998:** *Rusty and rusty-podzolic soils in the tundra and taiga of Middle Sweden.* Roczn. Gleb. 49 (1/2), 29-44
- Lundström U., van Breemen N., Bain D., 2000a:** *The podzolization process. A review.* Geoderma 94, 91-107
- Lundström U., van Breemen N., Bain D., i in. 2000b:** *Advances in understanding the podzolization process resulting from a multidisciplinary study of three coniferous forest soils in the Nordic Countries.* Geoderma 94, 335-353
- Melkerud P., Bain D., Jongmans A., Tarvainen T., 2000:** *Chemical, mineralogical and morphological characterization of three podzols developed on glacial deposits in Northern Europe.* Geoderma 94, 125-148
- Mokma D., 1983:** *New chemical criteria for defining the spodic horizon.* Soil Sci. Of American Jour. 47(5), 972-976
- Mokma D., 1991:** *Genesis of Spodosols in Michigan, USA.* Trends in Soil Science, 1, 25-32
- Mokma D., Buurman P., 1982:** *Podzols and podzolization in temperate regions.* ISM Monogr. 1, International Soil Museum, Wageningen, 126s,
- Schwertmann U., 1964:** *Differenzierung der Eisenoxide des Bodens durch Extraktion mit Ammoniumoxalat-Lösung.* Zeitschrift für Pflanzenernährung Düngung und Bodenkunde 105, 194-202
- Systematyka Gleb Polski, 1989:** PTG, Roczn. Gleb., 40 (3/4), 150s
- Volobujev V. 1973:** *System of world soils.* ELM, Baku, 307pp.
- WRB 1998:** *World Reference Base for Soil Resources.* World Soil resources Reports 84, FAO, ISRIC and ISSS.

## GEOGRAPHICAL DIFFERENTIATION OF PODZOLIC SOILS OF NEEDLE FORESTS IN MIDDLE AND NORTHERN EUROPE

### *Summary*

The aim of the paper is determine spatial differences of selected properties in podzolic soils of the central and northern Europe and subsequently to point to their regional differences. The work took in the area of the zonal occurrence of podzolic soils and carried out within Germany, Poland, Belarus, Lithuania, Latvia, Estonia and Finland, between longitudes 12°25' and 32°37' E and longitudes 50°10' and 69°44' N. The internal similarity of the soil units established on the basis of the statistical analysis of dissimilarity of their characteristics and of the grouping of soil profiles, allowed for the performance of geographical division of the podzolic soils into two zones, within which the regional sub-zones were thereafter determined. It was obtained that spatial variability of podzolic soils is connected with initial time of pedogenesis, textural properties of soil substratum, recently hicrothermal conditions and vegetation structure. Also, it was point out that spatial division of research area into the pedo-geographical units was made correctly and every region is characterised by the typical soil properties for each one.

